

## la luz, material espacial

alumno Jaime Schapiro

“Técnica y Creación” destaca, como en otras oportunidades, aquéllos trabajos escolares o de iniciativa personal de los estudiantes que, además de revelar un estudio a conciencia de las materias propuestas, revelan también una interpretación que confiere sentido al estudio efectuado.

En esta ocasión presentamos dos capítulos de la memoria del trabajo de Seminario del alumno Jaime Schapiro. Este tipo de trabajo corresponde al sexto y último año de estudios de la Escuela de Arquitectura.

### CAPITULO II

#### A.—¿Qué es la luz? Sus teorías.

##### Naturaleza de la luz

Los sabios de todas las épocas han tratado de dar respuesta a esta pregunta.

Los griegos suponían que la luz emanaba de los objetos y que correspondía como a un espectro de los mismos, extraordinariamente sutil que al llegar al ojo del observador permitía verlo.

Platón suponía que el fenómeno de la visión

se efectuaba por medio de unos hilillos que emergían del ojo y que a manera de tentáculos se ponía en contacto con los objetos y de este modo asimilaba el sentido de la vista, al sentido del tacto.

Demócrito explicaba este fenómeno diciendo que los cuerpos luminosos emitían corpúsculos que actuaban sobre el ojo.

Aristóteles suponía la existencia de un medio especial entre los objetos y los órganos de la visión.

Newton, es quien formula la primera hipótesis seria sobre la teoría de la luz expuesta

en el siglo XVII. Esta teoría denominada "de las emisiones" suponía que la visión se producía al ser herido el ojo por pequeños corpúsculos que salían del cuerpo luminoso los cuales permitían la observación del cuerpo del cual habían salido. De esta manera explicaba el comportamiento de la luz al reflejarse en los espejos y al pasar de un medio transparente a otro, como por ejemplo del agua al aire, casos en que el rayo de luz se quiebra y se desvía en su dirección inicial. Como consecuencia de su teoría corpuscular Newton sostuvo que la velocidad de la luz era mayor en el medio más denso.

Fue Huygens, contemporáneo a Newton quien emitió una teoría completamente nueva acerca de la luz. En su tratado sobre el asunto puede leerse:

"Si la luz emplea cierto tiempo para recorrer una determinada distancia resulta que este movimiento, comunicado a la materia en la cual se propaga, es sucesivo y, por consiguiente, se difunde como el sonido, por superficies esféricas y ondas. Y las llamó ondas por su semejanza con las que se forman sobre el agua cuando se arroja una piedra sobre la superficie: ondas que presentan un ensanchamiento sucesivo en forma de círculos, aun cuando la causa sea distinta de las ondas luminosas y estén éstas en una superficie plana".

De acuerdo con la teoría de Huygens, la luz no es una substancia, sino una transferencia de energía en forma de onda, de naturaleza semejante a la del sonido. La extraordinaria autoridad científica de Newton, entre otras cosas, hizo que la teoría ondulatoria de la luz tuviera que esperar muchos años antes de ser aceptada. Según esta teoría, la velocidad de la luz disminuye al penetrar en el agua, que es contrario a lo que se deduce de la teoría corpuscular. La contradicción de estas dos teorías fue uno de los mayores incentivos que hubo, cuando se encontraron procedimientos para medir la velocidad de la luz, pues la experiencia sería quien definiría cual de las dos teorías era la más acertada.

Cuando Fizeau y Foucault lo lograron, comprobaron que la luz se propaga con mayor velocidad en los medios menos densos se le dio el golpe de muerte a la Teoría Corpuscular de Newton.

La teoría ondulatoria daba respuesta a todas las interrogantes que surgían del conocimiento de los fenómenos luminosos conocidos hasta los últimos años del siglo XIX; de ahí que se le considerase como una verdad definitiva. Pero es el físico Hertz quien en 1887 descubre un nuevo fenómeno luminoso; al iluminar con luz, preferentemente ultravioleta, un cuerpo cargado de electricidad se desprendían de él cargas

eléctricas negativas. Este fenómeno tomó el nombre de efecto fotoeléctrico. El estudio de este fenómeno, y la confirmación de las experiencias, ha llevado a los físicos a la conclusión de que esta experiencia es sólo explicable si se admite que la luz se comporta como si estuviese constituida por corpúsculos. Esta teoría, en cierto modo es un retorno a la teoría de Newton.

Pero es Maxwell con su teoría electromagnética quien da la base para los estudios actuales de Luminotecnia, y para esto, como hipótesis fundamental, parte de la base de la existencia de un medio que llena completamente el espacio, medio que no sólo apoya como hipótesis a los fenómenos de energía radiante, sino también a los fenómenos eléctricos, magnéticos y los electromagnéticos.

Es así como formula sus ecuaciones que vienen a ser el acontecimiento más importante de la física después del tiempo de Newton, no sólo por la riqueza de su contenido, sino porque aquéllas representan un modelo o patrón para un nuevo tipo de ley.

"Las ecuaciones de Maxwell son leyes que representan la estructura del campo" (Binstein-Infeld).

En estas ecuaciones entra un nuevo concepto, que es el concepto de campo. En la teoría de Maxwell, el campo eléctrico y el magnético, o, en una palabra el campo electromagnético es algo real, todo esto ya está apoyado por las experiencias de Faraday y de Oersted. El campo eléctrico es creado por un campo magnético, y se crea un campo magnético por un campo variable, haya o no polo magnético; a partir de esto podemos ver que la conversión de la electricidad en energía mecánica es evidente.

Este cambio o traslado de energía tiene que hacerse a través de un medio, o vehículo, con lo cual nos vemos obligados a aceptar la existencia de un vehículo para el traslado de energía, de un lugar a otro, y este vehículo es el éter.

El éter, que rodea a un cuerpo electrizado, está cargado de energía que se manifiesta por medio de los fenómenos eléctricos al poder transmitir los fenómenos electromagnéticos.

El éter podría ser una propiedad del espacio de transmitir los efectos electromagnéticos. Toda variación de campo eléctrico a magnético o viceversa se propagan en el espacio con una velocidad determinada y producen una onda electromagnética que se desplaza con la velocidad de la luz, teoría que ya antes la había predicho Hertz, al suponer que una onda luminosa es una onda electromagnética; no se contradice en absoluto los hechos ópticos. Según

esto, se desprende que debe haber cierta conexión entre las propiedades ópticas y eléctricas de la materia. El hecho de poder confirmar esta conexión, ya es una razón de peso en favor de la teoría electromagnética de la luz.

Desde el punto de vista físico, la única diferencia entre una onda electromagnética común y una onda luminosa, está en su longitud de onda. Como estas ondas, se desplazan en el éter, se desprende la conclusión de que la luz es el resultado de la vibración del éter. Como explicaba anteriormente, toda esta teoría nace o se formula partiendo de concepto campo y su estructura. Estos conceptos son básicos para la teoría de la relatividad la cual se origina en los problemas del campo acentuando la importancia del concepto campo en física.

Es Max Planck quien con su teoría cuántica formulada a principios de nuestro siglo, descubre la radiación luminosa, la cual viene a derribar los antiguos conceptos. Esta teoría, es fundamentalmente una extensión de la teoría electromagnética. Esto se vio al observar que algunos metales producían corriente eléctrica al ser expuestos a la luz, por lo tanto había emisión de electrones y por consiguiente la luz debiera de poseer energía. Este es el fenómeno fotoeléctrico.

La luz según esta teoría está formada por pequeñas partículas o granos de energía los cuales, se ha demostrado experimentalmente tiene igual velocidad, la misma energía y masa nula.

Estas pequeñas porciones que viajan por el espacio con la velocidad de la luz se llaman fotones. Esto, significa que la radiación luminosa es absolutamente inmaterial y no fluye de manera regular sino en porciones elementales o "cuantitas" de las cuales hablaba anteriormente.

Con esta teoría se conserva la idea principal de la Teoría de Newton, debemos suponer que la luz homogénea está compuesta de granos de energía, y reemplazamos los antiguos corpúsculos luminosos por cuantos de luz a los cuales llamaremos fotones como ya habíamos visto. Esta teoría cuántica de la luz explica el fenómeno fotoeléctrico, que sirve de base para las leyes de Lenard y más tarde de Einstein sobre el efecto fotoeléctrico.

Pero nuevamente hacemos la pregunta ¿QUE ES LA LUZ? ¿Está formada por ondas o corpúsculos? Si estudiamos el Efecto Compton, vemos una nueva prueba del comportamiento corpuscular de la luz. Nuevamente queda la duda.

Los físicos se encuentran hoy ante una curiosa situación de tener que considerar la luz co-

mo onda en determinados fenómenos y como corpúsculo en otros. Pero, como si faltara algo para curarnos de espanto, se ha comprobado que los electrones y más aún, hasta las moléculas, que uno no podría imaginárselas sino como corpúsculos, ¡a veces se comportan como ondas, pues se difractan e interfieren! (Maistegui-Sabato).

Para el estudio que nos proponemos hacer debemos considerar la luz como una forma de energía radiante electromagnética por ser la que da respuesta a todos los fenómenos lumino-técnicos.

## B.—Definición de la luz

La luz es una forma de la energía radiante electromagnética, que se propaga en el espacio con un movimiento ondulatorio, producido en un campo eléctrico y magnético, a la velocidad de  $3.10^{10}$  cm./seg.

Es una forma de energía radiada por un cuerpo luminoso la cual por su acción sobre los órganos de la vista estimula la visión ya que corresponde a la parte visible de la energía radiante.

El espectro total de las ondas eléctricas se extiende desde las ondas cortas, de milmillonésimas de milímetro, tales como la "radiación cósmica", pasando por los rayos Gama, Röntgen hasta los rayos visibles, que están limitados por ambos lados por las regiones del ultravioleta y el infrarrojo hasta llegar hasta las ondas Hertzianas cuyas longitudes se miden en metros y kilómetros. La radiación visible es la comprendida aproximadamente entre las longitudes de ondas de 0,4 y 0,75  $\mu$  (1  $\mu$  - 1 micra - 1/100 mm. - 1/100000 m.).

## C.—La luz natural

La luz procedió en la naturaleza, a cualquier otra cosa del universo. Las primeras referencias acerca de la luz se encuentran en el primer capítulo del Génesis de la Biblia. Ello demuestra su prominencia en la Historia de la Creación.

Hay tres fuentes de luz natural: el sol, la luna y las estrellas, fuentes que sin duda alguna ejercen influencias decisivas sobre nuestras vidas y actividades.

Las necesidades crecientes debida al progreso, llevaron al ser humano a desligarse de la naturaleza y de las condiciones impuestas por ella, y para llevar a cabo esto en el campo de la luz el hombre creó nuevas fuentes lumino-

sas como complemento de las fuentes naturales a las cuales trató de imitar. Sin embargo estamos muy lejos de poder compartir por la fuente de luz natural que es el sol por excelencia.

Este proporciona en verano a mediodía una iluminación de más de 100.00 lux; en la tarde de verano 30.000 lux y a la sombra de un árbol a mediodía en verano 10.000 lux. Las mayores fuentes de luz artificial logradas por el hombre son las explosiones nucleares.

#### D.—Propagación de la luz

La luz que procede de un foco luminoso se propaga en líneas rectas, dentro de un medio homogéneo. Al interponer un cuerpo opaco entre la línea que une el ojo y el objeto, éste deja de verse.

La dirección rectilínea que la luz sigue en todo medio homogéneo y transparente, se llama rayo de luz, y la reunión de éstos se llama haz de rayos.

La dirección de los rayos de luz puede ser modificada por la interposición de algún cuerpo, que según su naturaleza, puede reflejar, refractar o absorber los rayos de luz. Cuando se coloca un objeto interceptor entre una fuente de luz y la superficie por ella iluminada se produce la "sombra".

#### E.—Sistemas de magnitudes luminotécnicas fundamentales

##### Energía luminosa: Q

Unidad: 1 lumen-hora = 1 mh.

Energía luminosa es la energía emitida por un manantial de luz (o absorbidas por un cuerpo iluminado), medida según la sensibilidad del ojo.

$$\text{Flujo luminoso: } F = \frac{Q}{T}; F = I \times W$$

Unidad: 1 lumen - 1 lm.

Flujo luminoso es la relación entre la energía Q emitida (o absorbida) en un tiempo t y dicho tiempo t empleado en la emisión (o absorción). El tiempo se mide en horas (h).

El lumen equivale a la cantidad de luz (flujo) sobre una superficie de 1 m<sup>2</sup> que está a la distancia de 1 metro del foco luminoso uniforme de 1 bujía.

$$\text{Intensidad luminosa: } I = \frac{F}{W}$$

Unidad: 1 bujía

Intensidad luminosa de una fuente en una dirección determinada, es el cociente del flujo luminoso (F) en dicha dirección al ángulo sólido (W).

Se llama **Angulo Sólido** al correspondiente a un cono situado en una esfera de radio de un metro de manera que su vértice se encuentre en el centro de la esfera en donde se supone situado el manantial luminoso y su base la superficie esférica de 1 m<sup>2</sup>.

La **bujía** internacional (Congreso de Como de 1933) es la luz producida por una lámpara de acetato de amilo dando una llama de 40 mm., cuya mecha de algodón va dentro de un tubo de plata de 8 m., de diámetro interior, 25 mm., de altura y 0,3 mm., de espesor. La llama debe arder en una atmósfera tranquila y alcanzar su intensidad media después de diez minutos.

$$\text{Intensidad de iluminación: } E = \frac{F}{S}$$

Unidad: 1 lux = 1'

La intensidad de iluminación es la densidad de flujo luminoso que incide sobre la superficie iluminada, o sea, la relación entre el flujo F (lúmenes) y la superficie S (m<sup>2</sup>).

Un **lux** corresponde a la iluminación producida por un flujo de luz de 1 lumen uniformemente distribuido sobre una superficie esférica de 1 m<sup>2</sup> a la distancia uniforme de 1 metro, siendo la intensidad una bujía internacional.

$$\text{Brillo: } Se = \frac{Ie}{S \cdot \cos e}$$

Unidad: 1 Stilb = 1 sb

El brillo (en la dirección) es la densidad de la luz de la superficie emisora, o sea, la relación de la intensidad luminosa Ie (en dirección e) a la superficie útil S' = s · cos e, es decir a la proyección de la superficie emisora s sobre el plano normal a la dirección de la visual.

Un **stilb** corresponde al brillo de una superficie que refleja una bujía por cm<sup>2</sup>.

Además del brillo como densidad superficial de iluminación, se usa también a veces, la densidad del flujo luminoso de la superficie emisora:

$$\text{Radiación luminosa específica: } R = \frac{F}{S}$$

Unidad = 1 lúmen /cm<sup>2</sup>.

En algunos países, esta unidad se usa como unidad de brillo bajo el nombre de "Lambert". Mientras el brillo sea constante, es decir independiente del ángulo de radiación, 1 lambert = 1 L = 1/11 sb.

## CAPITULO V

### Transformaciones operadas por la luz y el color

¿Qué se pretende lograr con la iluminación arquitectónica? ¿Y cómo? Con esta pregunta podremos ordenar la exposición de este capítulo.

Para iniciar las respuestas, nos basaremos en algunos conceptos sobre iluminación del Profesor Stanley Mc. Candles, profesor de Iluminación en el Departamento de Teatro de la Escuela de Artes de la Universidad de Yale que servirán de base a nuestro estudio.

Con la iluminación pretendemos crear un sentido de visibilidad, motivación, composición, "mood" (estado de ánimo, humor, genio) y confort lo que en conjunto llegaría a crear una atmósfera luminosa. Todos estos puntos nombrados anteriormente, podríamos definirlos como las funciones de la luz, las cuales fundamentalmente representan el grado de importancia funcional y de las reacciones que ésta pueda lograr en el individuo que vive el problema, a través del sentido de la vista y del proceso intelectual e imaginativo del espectador.

Todas las transformaciones y efectos que podemos lograr con luz y color, dependen exclusivamente del control de la luz y del color. Para poder controlar la luz y el color, junto con conocer las funciones de la luz en arquitectura, sus fuentes, tipos de iluminación, debemos también conocer las calidades de la luz, que dependen directamente de su control, y es la que más se aproxima a la parte sensorial de la visión, a través de las características fisiológicas que nos ayudan a sentir toda la serie de efectos luminosos. El control de la luz se puede hacer con instrumentos o artefactos los cuales se basan en las posibilidades ópticas, mecánicas y eléctricas de la luz, instrumentos que pueden producir infinitos efectos combinándolos entre sí.

Este control, puede ser un control directo de la fuente luminosa, ya sea en cuanto a color, forma, intensidad y textura, si consideramos la fuente reflejante, o un control de la distribución de la luz en el espacio, según sea su tipo para producir un efecto o una organización especial arquitectónica.

Este control se efectúa a través de:

**Cambios de la distribución** de la luz.

**Control en la distribución** con cambios de intensidad, color, textura y forma, de manera que varía la composición.

**Cambios bruscos entre dos tipos de iluminación** en espacios interrelacionados, o en un mismo espacio, con lo que se logra una diferenciación funcional y ambiental.

**Movimiento** en relación a los objetos estáticos. Este se puede producir con proyecciones

en movimiento, cambios de color, y de forma.

Como conclusión sobre lo expuesto en cuanto al control de la luz, y la manera que este control influye sobre la calidad de la luz podemos decir que los componentes que definen la calidad de la luz son: la intensidad, o el brillo, color, textura, forma y movimiento.

### Funciones de la luz

**Visibilidad.**—La visibilidad depende del grado de sensibilidad y de agudeza visual. Esto nos permite jugar al iluminar desde la obscuridad máxima hasta la intensidad o brillo máximo, con todas las intensidades intermedias. Es sin duda ésta, la función más importante de la luz ya que es la función estrictamente funcional y espacial, por permitir la sensación de espacio.

Aún cuando la visibilidad es la función más importante, podríamos considerarla como consecuencia inevitable de una buena iluminación en la cual se han tomado en cuenta y se han solucionado en buena forma los factores motivación, mood y confort.

En otras palabras, una determinada atmósfera produce una visibilidad también determinada. Al igual que la luz natural, la luz artificial varía su visibilidad en función de la calidad de la luz, ya sea la intensidad, color, textura, distribución y movimiento, influyendo directamente sobre la sensibilidad de cada individuo ya que crea una atmósfera alrededor de cada objeto, haciendo actuar la imaginación en los objetos de menor visibilidad, con un propósito selectivo, que nos hace seleccionar las cosas según el grado de agudeza visual.

En la naturaleza, la luz producida por el sol o por la luna, nos ha educado para percibir la solidez de la forma de los objetos a través de los contrastes de luz y sombra. En un día gris estos contrastes se reducen por la ausencia de luz y sombra, empezando a jugar entonces los contrastes de brillo y color. Al iluminar artificialmente podemos contar con toda la gama controlada, produciendo mayores agudezas. Desde luego, los contrastes excesivos causan fatiga y limitan la visibilidad.

Resumiendo: la iluminación a base de contrastes de luz y sombra le da especialidad y corporeidad a los objetos. Si no hay contrastes (luz difusa) se pierde el sentido de la forma. La iluminación débil produce sensación de lejanía debido a que en los días oscuros los colores tienden al gris y éste produce sensación de lejanía.

**Motivación.**—Inconcientemente, el espectador trata de relacionar un determinado ambiente lumínico, con las fuentes naturales de iluminación, o las que podríamos también llamar

fuentes motivadoras. Así, una iluminación brillante, recuerda un día de sol, y por lo tanto la alegría, una iluminación oscura, un día gris y triste, haciéndonos sentir tristeza; todo esto está en íntima relación con el color y textura. Esto nos hace en cierto modo reproducir efectos naturalistas, creándonos la ilusión del naturalismo. En estos casos debemos evaluar los elementos esenciales de una visión naturalística con los medios que se disponga. No se trata de una reproducción fiel, una reproducción fotográfica; se trata de una creación de efectos bellos, abstractos y artificiales que nos evoquen un efecto visual inconciente, estableciendo grados de motivación.

Resumiendo: motivación es el término aplicado al esfuerzo de hacer naturalística la visibilidad.

**Composición.**—La función composición, no depende solamente de la luz; entran a jugar los volúmenes, texturas, elementos muebles interiores, color, etc., es un cierto modo el aspecto pictórico que la iluminación produce en la arquitectura. La iluminación participa en la composición a través del brillo, color, formas producidas por las sombras, texturas, distribución de la luz, variedad de iluminación, dirección y difusión.

Esto en total produce un juego artístico, basado en las normas de armonía, ritmo, contrapunto y sensibilidad, acercándose a lo estético intelectual, a tal punto de llegar a sacar a la arquitectura de su condición estática.

La función composición nos permite enfatizar una composición por medio de luces y sombras, exagerar un elemento en cuanto a forma color y textura, y hacer desaparecer, o por lo menos minimizar un elemento que no nos es útil plásticamente.

**Mood.**—En el proceso de trabajo con las otras funciones de la luz, la atmósfera, o sentimiento creado por el efecto visual, deben mantenerse en la mente. Como ya lo hemos dicho anteriormente, es posible que esta función sea la primaria y por lo tanto la más importante, es decir, si esta propiedad o función, es expresada en forma íntegra, las otras tres anteriores, también estarían bien expresadas. Sin embargo, esta función es la más abstracta y se basa fundamentalmente en las reacciones psicológicas del individuo, pudiendo reproducir y enfatizar el espíritu de la obra arquitectónica.

La respuesta emocional del individuo está basada en las reacciones a las diferentes calidades de luz debidas a la experiencia, asociación, juicio, querer, interés, etc.

**Confort.**—Esta función se basa fundamentalmente en los valores umbrales en iluminación

en que el ojo y la mente se encuentran cómodos tanto biológicamente, como fisiológicamente. Depende directamente de todas las funciones anteriores. En él influyen también los reflejos (color y textura) y la influencia de la fuente en forma directa a la vista.

### Calidades de la luz

**Intensidad o brillo.**—La cantidad de radiación luminosa que excita el ojo da la sensación de brillo, desde la obscuridad hasta la saturación, éste está determinada por la pupila. En las lámparas de incandescencia el brillo está determinado por el consumo de energía eléctrica, pudiéndose controlar y aumentar con efectos ópticos y mecánicos.

Involuntariamente entra a jugar la retina con sus procesos de acomodación y adaptación, lo cual junto con la retina determinan el grado de agudeza visual. En este caso influyen directamente los materiales reflejantes en cuanto a su color y textura, el tamaño del reflector en relación con la posición de la fuente luminosa, la absorción, lentes, limpieza y el consumo de energía eléctrica.

Psicológicamente y emocionalmente, nos asocia con las fuentes naturales produciendo un efecto motivador.

**Color y textura.**—En esto entra la capacidad sensorial del ojo para distinguir las gamas de tonos, matices, tintas y sombras producidos por color o textura. El color varía al controlar la luz con un simple cambio de la intensidad, o con un cambio de color en la luz proyectada, actuando ésta como control remoto de los cambios de color, dejando el color de las sombras en función de la luz que los ilumina. En intensidades normales el ojo es más sensible al amarillo-verdoso que al rojo y al violeta. Los azules y violetas de gran saturación, causan fatiga rápidamente si el brillo es alto.

El color se puede controlar cambiando las características espectrales de las lámparas, por medio de filtros de vidrio, plásticos o gelatinas y cambiando las fuentes incandescentes por fuentes de arco de descarga de gases y fluorescentes.

**Forma.**—Una de las principales características del ojo es su habilidad para medir, configurar y ubicar objetos por medio de las diferencias de brillo y de color. O sea podemos cambiar la forma de un objeto con sólo variar la intensidad lo que nos lleva a un cambio de brillo o color.

La retina recibe las imágenes en forma plana y en color, la sensación espacial se logra a través de los signos de la percepción del es-

pacio los cuales los ha dado la experiencia, por la visión estereoscópica y el esfuerzo muscular del ojo. Teniendo en cuenta esto, podemos dar las sensaciones de forma en tres dimensiones, utilizando los llamados signos de percepción espacial, permitiéndonos reproducir grandes espacios en pequeñas áreas.

Los signos de la percepción espacial son:

- 1.—Las líneas de perspectiva.
- 2.—Agudeza y claridad en los contornos.
- 3.—Superposición.
- 4.—Posición de las sombras.
- 5.—Color relativo.
- 6.—Escala (A Syllabus o stage lighting: Stanley Mc. Candels).

**Movimiento.**—La Arquitectura es de por sí estática, estatismo que puede alterarse a base de cambios en la intensidad, color y forma a través de la unidad de tiempo, creando una atmósfera móvil, por contraste a los elementos estáticos absolutos de la arquitectura. También influyen de manera importante los cambios en la distribución de la luz, la asociación con elementos dinámicos de la vida, o el movimiento inconciente de la vista entre puntos diferentes de interés<sup>9</sup> debido a los cambios de la intensidad de la luz.

El movimiento transcurre y se desarrolla en el tiempo. Por lo tanto para producir movimiento en la Arquitectura, hay que estimular los órganos de la vista tomando en cuenta el tiempo que este estímulo dura. De igual manera actúa un determinado ritmo o contrapunto, al fijar la atención de la vista durante un tiempo determinado.

Como ya lo habíamos manifestado, las funciones y calidades de la luz sólo se pueden lograr en el control de la misma por lo que debemos considerar el comportamiento físico, fisiológico, biológico, químico, psicológico y estético de la luz y el color. De esta manera controlaremos la luz conociendo sus reflexiones, absorciones, refracciones, brillo, contrastes, transmisión, controlaremos los materiales y pigmentos a través de la reflexión selectiva, la relación de colores, matices y tonos, los sistemas de aplicación de pintura y los efectos fotoluminiscentes.

Buscaremos relaciones entre el objeto y el espacio a iluminar y las fuentes que los iluminarán, tomando en cuenta sus dimensiones, forma, posición, textura en relación con los otros objetos o espacios para lograr la visión estereoscópica.

Controlaremos la ubicación de las fuentes, sus intensidades, las sombras y contornos, las fuentes luminosas secundarias como muros, cielos, piso, muebles, cortinas y pantallas.

Todos estos factores nos producen las diferentes calidades y funciones de la luz y lo podríamos llamar la **iluminación integral**, para lo cual existen métodos, estudiados en gran parte por las industrias que producen material luminotécnico y por institutos de investigación especializados en luminotecnia.

### Formas de iluminación

Conociendo las calidades, funciones y control de la luz podríamos ya entrar a iluminar. Según el señor Richard Kelly, consejero luminotécnico norteamericano, existen tres formas de iluminación que son:

a) Iluminación total del espacio.

Se trata de crear una atmósfera iluminada con luz difusa en todas las direcciones, evitando sombras y creando una iluminación pareja. Este efecto se puede producir utilizando el cielo como elemento iluminador, como plano iluminado; o repartiendo fuentes de luz difusa en todo el recinto. Esta iluminación es muy monótona, por lo que se recomienda combinarla con luz directa.

b) Iluminación por puntos de interés.

Con esta forma de iluminar se pretende dirigir la atención a zonas u objetos ubicados en un recinto, enfatizando su importancia por medio de focos de luz concentrada, permitiendo jugar con las luces y sombras, lo que evita una monotonía visual y ayuda a crear ambientes de intimidad, al combinarlos con elementos de luz directa.

c) Iluminación por composición o juegos de puntos luminosos.

Esta resulta de la agrupación plástica de pequeñas fuentes luminosas, las cuales producen luz directa o difusa. Este tipo se utiliza por lo general en donde se necesita una iluminación pareja y con fines decorativos. A nuestro parecer todas las formas nombradas anteriormente pueden combinarse entre sí, logrando una gran variedad de iluminación.

### Influencia de la luz en el espacio

Ya algo habíamos hablado sobre la influencia de la luz en el espacio arquitectónico en la introducción, en que decíamos que esta puede, modificar, organizar, transformar, romper la monotonía o crear un nuevo espacio.

Esto casi no se ha considerado al tomar la luz como un asunto mecánico necesario para nuestra arquitectura, desconociendo completamente las calidades de la luz y utilizando sólo la cualidad de iluminar. Esto se debe a la relación obvia entre luz y visibilidad en las tareas visuales, lo que ha hecho que los ingenieros

luminotécnicos crean que cumpliendo con el propósito de iluminar, cumplen con el fin de la iluminación.

Como ejemplo para demostrar que esto no es así, basta recordar el poder que ejerce un reflector sobre el escenario y como varían las condiciones ambientales al variar la iluminación. Estas condiciones son tan familiares para nosotros que en efecto la principal diferencia entre un día hermoso y uno triste es la condición luminosa.

La luz refuerza los ambientes naturales de la actividad o situación, ayudando al carácter arquitectónico, al igual que produce efectos emocionales o psicológicos, llegando a ser fundamental en la planificación y el diseño, transformándose en una parte funcional de la actividad a desarrollar.

La luz es un factor variable en la arquitectura y sus cambios de color, dirección, difusión afectan al espacio produciendo las sensaciones subjetivas de lejanía, los cambios de concentración de luz, o de las características de emisión de luz inducen a respuestas en el subconsciente del observador.

Esta es la relación fundamental entre luz y "visión" la cual no es sólo un factor de visibilidad, sino un factor o elemento controlable emocionalmente.

Es en este campo en donde debe trabajar el arquitecto secundado por los técnicos, abandonando el campo de la simple iluminación.

La Arquitectura en cierto modo, por su característica de creación de impresiones visuales como complejo de impresión óptica, es un arte hecho para la luz. De esta manera la tecnología de la luz puede tener un fin artístico, funcional y plástico tan indispensable en la arquitectura, que podemos considerar a la luz como un material arquitectónico, que nos permite crear atmósferas únicas, con una expresión propia, y es imposible obtenerlas de otro modo, lo que le permite al arquitecto ampliar sus posibilidades de creación arquitectónica.

Al igual que cualquier material la luz tiene sus formas y posibilidades verdaderas formada por los rayos radiados desde la fuente. De esta manera la iluminación se transforma en un elemento estereoplástico en sí permitiéndonos hacer pintura y escultura, creando así un nuevo medio de expresión artística.

De esta manera la elección de un sistema de iluminación debe hacerse con el mismo cuidado con el cual el arquitecto elige un determinado tipo de madera u otro material, ya que ésta va a influir directamente en el espacio interior y su relación con el exterior u otros espacios. Con la luz podemos diferenciar o juntar los espacios, podemos producir cortinas o interrelacionarlos,

llegando a controlar el espacio en cuanto a tamaño y sensaciones.

Como podemos ver, entre todos los materiales arquitectónicos, la luz es el material más flexible, y además nos permite controlar el resto de los materiales.

Cada proyecto arquitectónico debe solucionarse con una iluminación espacial, no podemos poner una iluminación forzada que no corresponda al proyecto. En el "Testamento" Frank Lloyd Wright decía: "Cada material debe llegar a ser una feliz determinante del estilo; usar un material en forma errada, es abusar de la integridad de todo el diseño". Ninguna obra arquitectónica debe cambiar la naturaleza de su iluminación, ni producir iluminaciones que no correspondan.

**Iluminación orgánica.**—Iluminación orgánica significa iluminar el espacio en relación con el individuo y la función o trabajo a desarrollar en él de tal modo que llegue a ser un elemento integral de la arquitectura de manera que sea imposible de separarla de ésta.

De esta manera cada espacio llega a tener su característica propia según la función; se llega a crear un ambiente lumínico que nos produce efectos psicológicos. Con la luz podemos romper la monotonía con los efectos de la luz y sombra, enriquecer los materiales, creando transparencias y nuevos efectos de textura; podemos organizar y ocupar el espacio según la función hasta el punto de llegar a crear circulaciones y espacios de trabajo definir la estructura, destacando su silueta en contraste con los planos transparentes y semitransparentes, definir espacios con cambio de iluminación (tipo y ubicación de fuentes) utilizan la luz como elemento plástico en sí con una finalidad decorativa.

En otras palabras con luz podemos evaluar los efectos espaciales de la arquitectura hasta el punto de llegar a transfigurar un mismo espacio con sólo cambiar la iluminación, produciendo sensaciones de reposo y seguridad, agitación y ansiedad, limitación y distancia o relación entre el interior y exterior. De esta manera podemos llegar a transformar, definir o exaltar espacios con el solo cambio del sentido de iluminación.

El poder de la luz en este sentido es tan fuerte que es capaz de prescindir en gran parte de elementos materiales para crear un espacio. Con un mínimo de elementos, y una buena distribución de luz crearemos un nuevo espacio con una ambientación propia. Incluso sin elementos materiales se crea un espacio. De día caminamos hacia todos los lados debido a que vemos; de noche cuando no vemos nada o iluminamos una zona, esta nos hace ir hacia



la luz e introducimos en ella; esto nos crea la sensación de muros y techos creando un espacio interior dándonos un sentido de seguridad, típico del espacio interior. Introduciendo más rayos podemos definir este espacio en mejor forma. Este espacio puede variar de tamaño según sea la función que en él se efectúe, se pasee a pie o en vehículo motorizado, etc., esto determina el tipo y dimensiones del equipo.

También podemos indefinir un espacio iluminado al proyectar desde él, hacia arriba hacia los lados rayos luminosos que nos llevan la vista hacia la lejanía.

Ahora podemos tomar el ejemplo anterior en forma inversa, utilizando la obscuridad para separar espacios o formas luminosas, produciendo efectos dramáticos.

La luz es el único material que puede penetrar en el espacio interior, desde el exterior, prescindiendo de la forma de la armadura, y hasta de ella misma. De este modo debemos tratar de evitar las luminarias visibles, salvo el caso que éste sirva de decoración y ayude al carácter: es el caso de las velas de la iglesia. La luz debe usarse para enfatizar y dramatizar los verdaderos símbolos.

La luz se puede usar para llenar el espacio interior, para reforzar líneas arquitectónicas, para definir planos, dar la escala rompiendo un espacio grande, lo que se produce al ver a una persona iluminada en el centro de un estadio, ya que sin luz perdería la escala.

El contraste en un interior produce puntos focales que llevan a la sensación de grandes espacios. Este contraste se logra con la iluminación por puntos de interés, controlando los grados de iluminación intermedia, y ubicando un punto iluminado en la parte más lejana. Se trata de que la luz posea una "personalidad" que domine al espectador.

En el caso de poco contraste, con luz difusa, produce una sensación de lejanía también difusa y poco definida, dejando una libre selección de los puntos de interés, haciendo empequeñecer los espacios.

La distribución del brillo afecta a la respuesta emocional del individuo en el espacio interior. Este depende si se ilumina en forma vertical u horizontal (manteniendo la misma intensidad de brillo). Al iluminar horizontalmente, hacemos resaltar el plano de trabajo y de circulación, desapareciendo la estructura como factor primario de la composición, siendo la parte principal el espectador que está dentro del plano horizontal, la sensación es de pequeños espacios.

Si iluminamos verticalmente, se producen las sensaciones de lejanía, se agranda el espacio,

se reduce la importancia del plano horizontal produciendo intimidad.

Aparece la silueta a través del contraste, que es lo que produce la sensación de lejanía, induciendo a una actitud introspectiva, íntima, con un sentimiento de privacidad.

En casos especiales esta privacidad se puede dar con un foco o luz central, pudiendo ser una luminaria que sirve como "centro de conversación" y centro de atracción visual del recinto por ser parte de la decoración interna.

En los casos en que se varía la intensidad del brillo se afecta a la intensidad de interreflexión del espacio alterando la impresión de brillo y contraste. Por ejemplo, un espacio iluminado con poco brillo, reduce la difusión multidireccional creando grados de contraste en el recinto. Altas intensidades en el brillo, aumenta las interreflexiones tendiendo a reducir las sombras y siluetas. Psicológicamente la alta intensidad lumínica, contribuye a un sentido de actividad y eficiencia, mientras la baja intensidad tiende a crear una actitud de inactividad y descanso.

El proceso de adaptación visual debe tomarse en cuenta al proyectar un equipo o al lograr un efecto, adaptación en cuanto a intensidad, color, forma o movimiento. Un espacio que nos parece iluminado de noche, en contraste con la obscuridad exterior, nos puede parecer oscuro de día en contraste con la luz solar. Es por eso que debemos controlar las diferencias de brillo y color en relación a la adaptación visual.

La presencia del centelleo y fulgor actúa como centro de atracción visual, dándole vitalidad y movimiento al espacio lo que excita los sentidos asociándolos con la alegría.

Los elementos auto-luminosos formados por superficies, líneas o formas libres (pantallas) son importantes en la definición y unificación del espacio arquitectónico. Estas superficies trans-iluminadas llegan a ser un elemento arquitectónico de tanta importancia en la composición general que tiende a unificar la misma, aún cuando el espacio esté triturado por elementos accesorios. Estos elementos auto-luminosos son capaces de alterar el carácter aparente y las proporciones del espacio arquitectónico, produciendo puntos o líneas de dirección visual. Estos puntos y líneas contribuyen a la composición general de tal modo que su organización debe hacerse bajo los mismos conceptos de composición aplicado a los otros elementos arquitectónicos.

En un espacio oscuro, podemos iluminar zonas por puntos dejando otras en penumbra las cuales sirven para separar los espacios ilumi-

nados, los cuales quedan como pequeñas islas de sub-espacios de intimidad.

**Luz y sombra.**—La forma tridimensional se ve al relacionar la luz y la sombra, lo cual altera las características visuales del espacio mismo. Un cambio en esa relación luz y sombra causado por un cambio direccional en el sistema, cambia la impresión visual de profundidad y forma.

La visión de textura, escultura y características visuales de los materiales dependen del carácter y distribución de la luz del recinto.

Las texturas, bajorrelieves, sobrerrelieves, son reforzados con la acción de la luz. La luz difusa reduce esta visibilidad y contraste, creando una superficie uniforme. Con esto hay que tener cuidado ya que la luz rasante dirigida produce sombras en la textura, las cuales pueden delatar una mala terminación en los interiores.

El brillo de luz, y la sombra, o más bien dicho la mancha de luz y sombra, es un elemento importante en la composición, dándole riqueza a los elementos simples, independientes de estos mismos, lo que produce un gran interés visual.

La luz direccional y los contrastes de brillo pueden producir una excitación emocional, creando efectos dramáticos, a base de reducir la visibilidad en ciertas zonas, lo que dificulta al observador un estudio detallado del objeto. En cambio, la luz difusa multidireccional reduce las sombras y facilita el estudio y visión en detalle, sacrificando el impacto dramático y la excitación emocional.

En este caso, la luz difusa es recomendable en la iluminación industrial en donde la sombra es molesta.

Agregándole color a la luz direccional lograremos producir un cambio mayor en la forma y sentido de un objeto, produciendo misterio y sensaciones de sobrenaturalidad. El emplazamiento y posición de la fuente luminosa influye mucho en el espacio, textura y escultura.

Cualquiera que sea el espacio a iluminar, debemos hacerlo pensando en el que va a estar en su interior, el hombre, juntando lo intelectual y lo emocional, ya que el hombre, teóricamente es la suma total de sus potencialidades psicofísicas, intelectuales y emocionales. Según esto, ¿cómo debemos diseñar un equipo?

Debemos empezar por hacer un análisis del tipo de vida que se va a realizar en el espacio a proyectar, ya sea éste para el estudio, actividad, quietud y relajamiento. Esto nos dará la primera pauta.

¿Cómo deben sentirse las personas dentro de este recinto? Esta es la segunda incógnita a des-

pejar. No basta con la iluminación funcionalmente apta, se debe lograr un ambiente confortable y acogedor para la actividad a realizar.

A pesar de todo debemos hacer un cálculo cuantitativo de la luz, sobre todo en recintos de trabajo, sin abandonar el punto de vista humano del problema.

La actividad a desarrollar nos da la pauta para el sistema a usar, pero ¿dónde dirigimos la luz? ¿dividiremos el espacio creando zonas para distintas actividades? ¿llenaremos el espacio con luz diurna, para conservar el carácter diurno? Con todas estas preguntas vemos que el problema se refiere a la calidad de la luz y ya no a la cantidad.

El paso siguiente será escoger el tipo de lámpara o de fuente luminosa, cuidándonos de no usar equivocadamente la fuente de luz. No podemos forzar a una lámpara a producir una luz para la que no fue hecha, creyendo que los aparatos de distribución pueden cambiarla en su naturaleza.

Ningún artefacto puede producir una forma de luz si la lámpara no está hecha para dicha forma.

Conociendo el tipo de fuentes luminosas a usar, debemos controlar su luz para producir el efecto deseado.

Esta distribución y control se efectúa mediante las armaduras, y los elementos reflectantes como cielos, paredes, pisos, colores, texturas, etc. los cuales ayudan a cambiar la forma luminosa para lograr la "iluminación integral".

Tendremos oportunidad más adelante de ver las maneras de controlar la luz para producir estos efectos luminosos y como influyen éstas en el diseño.

Al diseñar las armaduras debemos tener en cuenta la reducción de potencial de la instalación debido a la edad, uso y acumulación de polvo, localizando los artefactos de manera que se puedan registrar, reparar, limpiar o reemplazarlos.

Para terminar diremos que debemos considerar dos tipos de alumbrado: el alumbrado general, y el alumbrado local.

El primer tipo satisface las condiciones de buena visión. El segundo tipo se emplea para satisfacer requerimientos especiales de diferentes actividades, cuando se perjudica el alumbrado general por mejorar las sensaciones ambientales.

No existe predominio de un sistema sobre otro, depende de la solución ambiental proyectada, siendo posible llegar a soluciones mixtas conjugando las ventajas de ambos sistemas,